Plain Old Telephone Service

Hoewel vrijwel iedereen tegenwoordig mobiel belt is de oude vaste telefoon alles behalve dood. Zelfs als u uw koperen draad hebt uitgeschakeld heeft uw kabel- of glasvezel-modem nog steeds een uitgang waarop u een vaste telefoon kunt aansluiten.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 11-12-2022

Heel oud, maar ook heel onbekend?

POTS, Plain Old Telephone Service
Om op de hoogte te blijven van wat er allemaal speelt in het elektronica wereldje volgen wij regelmatig diverse elektronica-forums (fora?). Tot onze grote verbazing lazen wij ergens in een topic dat er nogal wat hobby-elektronici zijn die niet weten hoe een ouderwetse vaste telefoon werkt.
Hoewel vrijwel iedereen tegenwoordig hoofdzakelijk mobiel belt is het oude analoge telefoonnetwerk uiteraard alles behalve dood. Vrijwel alle bedrijven hebben nog steeds een of meerdere vaste nummers en ook een heleboel particulieren heeft thuis nog steeds een vaste aansluiting.
Volgens een recent onderzoek heeft meer dan een derde van Nederland (37%) nog vaste telefonie. Met één procent meer is het deel dat de vaste lijn onbelangrijk vindt (38%) net iets groter. Het overige deel staat er neutraal in. Vooral niet-werkenden beschikken graag over vaste telefonie: 44%, tegenover 32% van de werkenden. Dit kan te verklaren zijn doordat 65-plussers vaste telefonie het meest belangrijk vinden en een groot deel daarvan niet meer werkt. Vooral 65-plussers zien graag nog een vaste verbinding in huis, 59% van deze groep vindt een vaste lijn belangrijk. Van de 18- tot 34-jarigen beschikt een op de vier graag over vaste telefonie.

Via een modem telefoneren
Die vaste aansluiting wordt tegenwoordig meestal uw huis ingebracht via een coaxkabel- of glasvezel-modem. De soft- en hardware in dit modem zorgt ervoor dat op die uitgangen signalen verschijnen die wat betreft specificaties volledig te vergelijken zijn met de signalen die de oude PTT op de koperen kabel plaatste. Dank zij deze compatibiliteit kunt u nog steeds uw oude vaste telefoon blijven gebruiken op de modernste communicatie-media.
In het spraakgebruik wordt deze vorm van telefooncommunicatie '*vaste telefoon*' genoemd. Techneuten spreken echter bij voorkeur over '*POTS*'. POTS is het letterwoord voor '***P**lain **O**ld **T**elephone **S**ervice*', '***P**ost **O**ffice **T**elephone **S**ervice*' of '***P**ost **O**ffice **T**elephone **S**ystem*'. Drie uitdrukkingen die staan voor hetzelfde verschijnsel: telefonie via twee getwiste koperen aders.

Twee koperen adertjes verbinden u met de hele wereld
Het internationale vaste telefoonnet heeft tezelfdertijd iets van een verbazingwekkende eenvoud als iets van een ontstellende gecompliceerdheid in zich. Op twee simpele onafgeschermde koperen draadjes wordt een tamelijk eenvoudig apparaat, een telefoon, aangesloten. Vanaf dat moment ligt letterlijk de hele wereld binnen uw het bereik! Een wereld bereikbaar via honderdduizenden kilometer kabel, duizenden signaalversterkers, honderden telefooncentrales, elektronische signaalbewerkers, analoog naar digitaal en digitaal naar analoog omzetters, zenders, ontvangers en satellieten.

Alle signalen tussen twee aders
Tussen deze twee koperen geleiders worden nogal wat signalen gezet. Een overzicht is getekend in de onderstaande figuur.
De basissignalen zijn:

- Het rustsignaal, een gelijkspanning van minimaal 45 V.
- Het belsignaal, een 25 Hz wisselspanning van minimaal 100 V.
- Signalen naar de gebruiker, zoals kiestoon, wektoon, bezettoon, overbelastingstoon, informatietoon, opschakeltoon.
- De kiessignalen, oorspronkelijk pulskies-signalen, tegenwoordig uitsluitend toonkies-signalen (DTMF).
- De Caller-ID informatie of nummerweergave, geeft informatie over het nummer waardoor u wordt opgebeld.
- En, uiteraard, de laagfrequente audio- en spraaksignalen die u en uw gesprekspartner op de lijn zetten.

Identificatie van de aders
Een standaard telefoonkabel bevat twee getwiste aderparen en soms ook nog een extra blanke ader die als aarde wordt gebruikt. De benaming en de kleurcodering volgens de gestandaardiseerde Nederlandse en Amerikaanse afspraken is samengevat in de onderstaande tabel.

NEDERLAND		AMERIKA	
NAAM	KLEUR	NAAM	KLEUR
a	rood	tip	groen
b	blauw	ring	rood
2a	oranje	2tip	zwart
2b	wit	2ring	geel

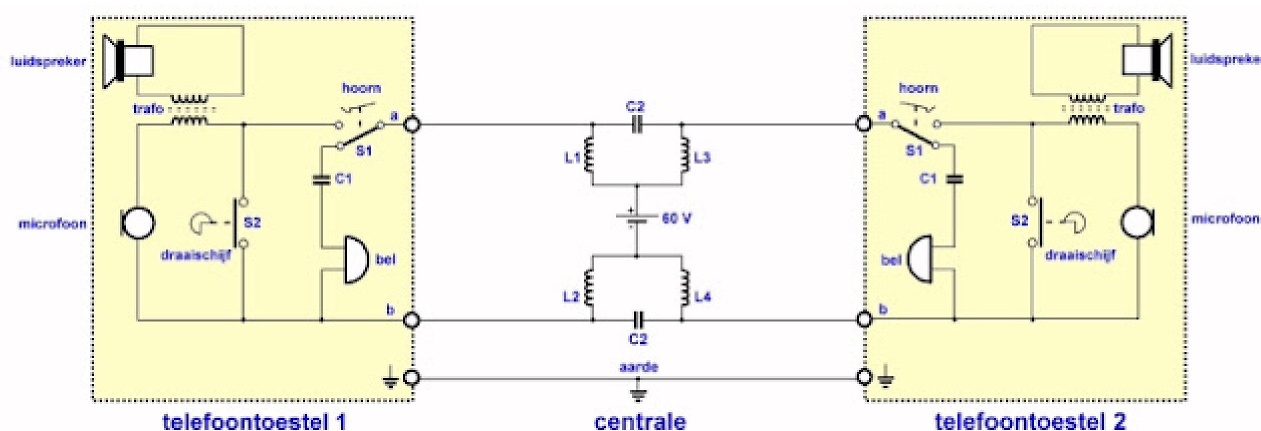
Benaming en kleuren van de vier aders in een telefoonkabel.
(© 2022 Jos Verstraten)

Polariteit ten opzichte van aarde
Het systeem werkt met negatieve spanningen ten opzichte van aarde. Tip (a) is de aarde en ring (b) is het actieve signaal. Dat men voor een negatieve spanning ten opzichte van het aardpotentiaal heeft gekozen is niet toevallig. Bij het ingraven van kabels ontdekte men dat koper weggevreten wordt door elektrolytische processen als het in contact komt met vochtige aarde. Dat gebeurt echter alleen als het koper op een positief potentiaal staat ten opzichte van de aarde. Door de koperen binnenader van de kabel negatief te maken ten opzichte van de buitenste geleidende mantel wordt voorkomen dat de centrale ader wordt aangetast. De mantel bevat veel meer koper en kan dus best wel een beetje missen.
De meeste moderne telefooncentrales keren echter, vanwege ingewikkelde interne technische redenen, de polariteit om tijdens een gesprek. Telefoontoestellen zijn niet gevoelig voor de polariteit van de binnenkomende spanning, dus dat inverteren van de polariteit kan zonder problemen.

De telefoonverbinding

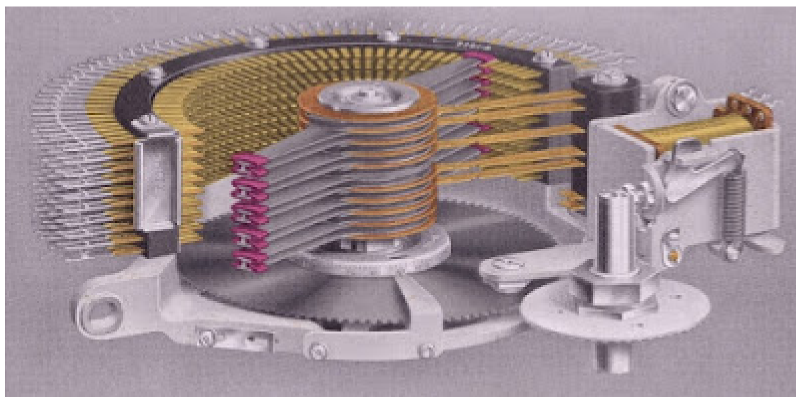
Het basisprincipe van een kiesschijf telefoonverbinding
Het algemeen principe van het verbinden van telefoon 1 met telefoon 2 is geschetst in de onderstaande figuur. U kunt de interne schakeling van een telefoon in twee grote blokken indelen, die door middel van de haakomschakelaar S1 over de lijn worden gezet. Als de hoorn op de haak ligt (getekende stand) schakelt de omschakelaar S1 eenserieschakeling

van een grote condensator C1 en een elektromechanische bel over de lijn. De telefoon heeft dan voor gelijkstroom een oneindig hoge weerstand, er kan geen gelijkstroom door de keten vloeien. Als u echter de hoorn van de haak neemt schakelt de omschakelaar S1 een serieschakeling van een trafowikkeling en een microfoon over de lijn. De gelijkstroomweerstand van het apparaat valt nu terug tot enige honderden ohms, er kan gelijkstroom door het apparaat en de PTT-lijn vloeien. Dit nu is zeer belangrijk, want door dit weerstandsverschil kan de centrale ontdekken dat u de hoorn van de haak neemt en een verbinding tot stand wilt brengen.
In feite is deze omschakeling tussen capacitieve en resistieve belasting het basisprincipe van het automatische telefoonverkeer. Om dat verschil in geaardheid van lijnbelasting te kunnen detecteren wordt er in de centrale een gelijkspanning van circa 60 V over de lijn gezet. Deze spanningsbron is uiteraard niet rechtstreeks over de lijn geschakeld, maar via een ingewikkeld netwerk. Dit netwerk is in de tekening vereenvoudigd tot de spoelen L1 tot en met L4. Als u de hoorn van de haak neemt zal er een stroom van ongeveer 30 mA door de trafo, de microfoon en de lijn gaan lopen. Deze stroom activeert een schakeling in de centrale, waardoor het ingewikkelde systeem in werking wordt gesteld dat een vrije lijn opzoekt en deze lijn aan uw toestel toewijst.



Het basisprincipe van een kiesschijf telefoonverbinding. (© 2022 Jos Verstraten)

Kiesschijf
Een tweede belangrijke eis is dat u met uw toestel het nummer van een ander toestel aan de centrale kenbaar moet kunnen maken. Over de serieschakeling van trafo en microfoon is daarvoor een kortsluitschakelaar S2 opgenomen. Deze wordt geactiveerd door de kiesschijf en zal, als de schijf uit zichzelf terugdraait naar de rustpositie, een aantal keren kortgesloten worden. Als u cijfer 5 draait ontstaan er dus snel achter elkaar vijf kortsluitinkjes op de lijn. Door die kortsluitpulsen worden er in de oude centrales relais die een soort van draaischakelaars bedienen in de juiste positie gezet en wordt cijfer na cijfer de verbinding tussen de telefoon 1 en telefoon 2 tot stand gebracht. In de moderne centrales gaat dit uiteraard met elektronische tellers, maar dit doet niets af aan het algemene principe.



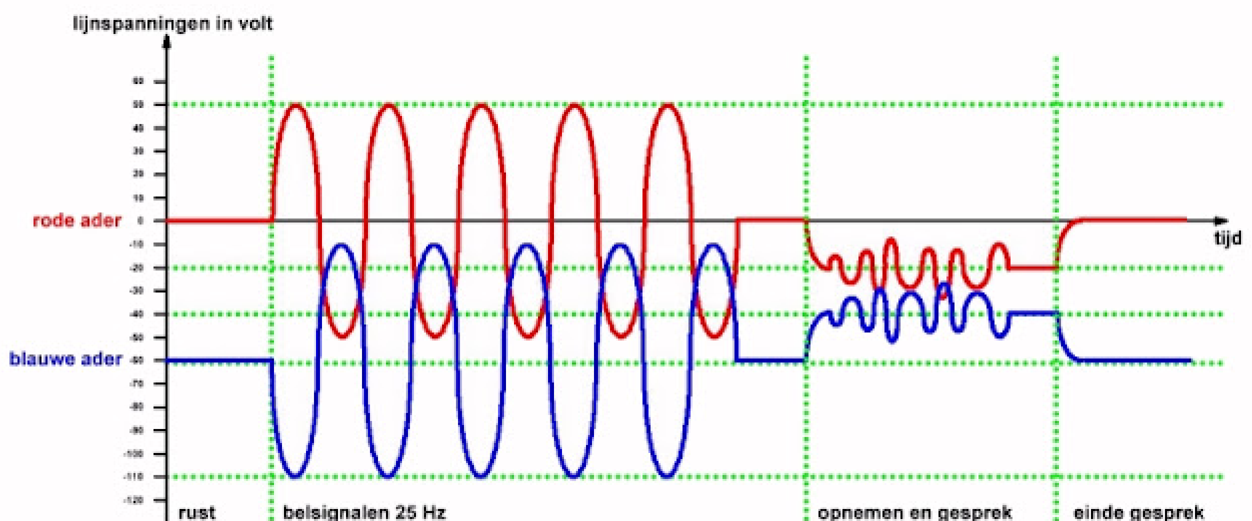
Een oud lijnzoek-relais van het type 7300.
(© Telecommunicatie Erfgoed Stichting)

Bel activeren
Een derde eis is dat uw telefoon opgeroepen moet kunnen worden. In de rustpositie staat de bel capacitief over de lijn geschakeld en deze wordt geactiveerd door tamelijk grote wisselspanningspulsjes over de lijn te zetten. Deze spanning wordt gesuperponeerd op de 60 V gelijkspanning op de lijn en zal via de condensator C1 de bel activeren. De frequentie van dit belsignaal is 25 Hz, de sinussen van de belspanning hebben een amplitude van ongeveer 50 V.

Signalen op de lijn

Volledig symmetrisch
De telefoonlijn is een symmetrische lijn! Als de spanning op ader a bijvoorbeeld x volt stijgt, dan zal de spanning op ader b x volt dalen Die symmetrie van het net is zeer belangrijk, onder meer voor de onderdrukking van bromspanningen. Eventuele ergens onderweg opgepikte brom zal op beide aders in dezelfde mate aanwezig zijn en heeft dus geen stroom door de telefoons tot gevolg.

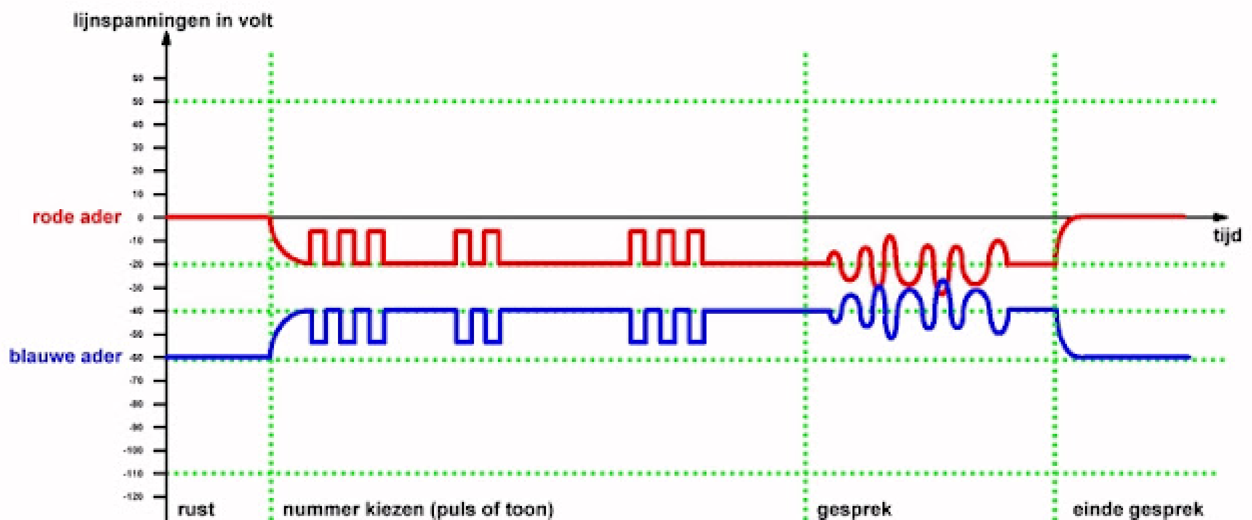
Signalen op de lijn bij een inkomend gesprek
Het verloop van de lijnspanning is getekend in de onderstaande afbeelding. In rust staat er ongeveer 60 V gelijkspanning tussen a en b. De sinussen van de 25 Hz belspanning worden in tegenfase op de beide aders gesuperponeerd, zodat er tijdens het rinkelen van de telefoon een maximale spanning van 160 V tussen a en b kan staan! Als u de hoorn van de haak neemt wordt de gelijkstroomweerstand van de trafo over de lijn gezet, de stroom van ongeveer 30 mA veroorzaakt een spanningsval waardoor de gelijkspanning tussen a en b terugvalt tot ongeveer 15 V.
De caller-ID informatie verschijnt op de lijn tussen de eerste en de tweede reeks belpulsen. Deze informatie is niet ingetekend.
Het gesprekssignaal wordt in tegenfase op beide lijnen gezet, zodat het spanningsverschil tussen a en b stijgt en daalt op het ritme van het geluid en er een wisselstroom door de primaire wikkeling van de trafo vloeit.



Overzicht van de signalen bij een binnenkomend gesprek. (© 2022 Jos Verstraten)

Signalen op de lijn bij een uitgaand gesprek
Het spanningsverloop is getekend in de onderstaande figuur. Als u de hoorn van de haak neemt valt het gelijkspanningsverschil tussen a en b weer terug tot ongeveer 15 V. Bij het bedienen van de kiesschijf worden kortsluitpulsjes op de lijn gezet, het spanningsverschil tussen a en b gaat op het ritme van de kiespulsen heen en weer tussen ongeveer 0 V en 50 V. Dit wordt veroorzaakt door de gecombineerde werking van twee schakelaars die aan de kiesschijf zijn gekoppeld en die de lijn afwisselend kortsluiten en onderbreken.

Bij druktoets telefoons worden de signalen van de dual-tone multi-frequency signaling (DTMF), net zoals het gespreksignaal, in tegenfase tussen de beide aders gezet.
In beide gevallen weet de centrale deze signalen te detecteren en via een zeer ingewikkeld netwerk van elektronische schakelaars wordt de verbinding met het ingetoetste of gedraaide nummer tot stand gebracht.
Later wordt het gesprekssignaal weer in tegenfase op beide lijnen gemoduleerd, zodat er weer wisselstroom door de trafo vloeit en beide gespreksdeelnemers het signaal horen.



De signalen die tussen de twee aders worden gezet bij een uitgaand gesprek.
(© 2022 Jos Verstraten)

De signalen van centrale naar gebruiker

De kiestoon
De kiestoon hoort u nadat u de hoorn hebt opgenomen. Deze toon betekent dat u contact hebt met een centrale en dat u kunt beginnen met het intoetsen van het te bellen nummer. In Nederland is de kiestoon een continu sinussignaal met een frequentie van 425 Hz.

De tweede kiestoon
Vroeger werd een iets hogere kiestoon verzonden na het intoetsen van een netnummer. In sommige landen gebeurt dan nog steeds. De centrale waarop uw telefoon is aangesloten moet dan immers contact zoeken met een andere centrale en nadat dat contact tot stand was gekomen hoorde u deze tweede kiestoon.
Dat gebeurt nu niet meer omdat modernere telefooncentrales het volledige telefoonnummer kunnen opslaan. De tweede kiestoon werd in Nederland al in 1994 afgeschaft.

Dienst direct doorschakelen
In Nederland wordt op de vaste lijnen een speciale onderbroken kiestoon verzonden die de u hoort als u de dienst '*Direct Doorschakelen*' hebt geactiveerd. De frequentie bedraagt 425 Hz met elke 500 ms een onderbreking van 50 ms.

Voicemail
Sommige telefoonnetwerken, zoals die van UPC, hebben een speciale kiestoon om aan te geven dat er een nieuwe voicemail is ingesproken. Na het afluisteren van deze voicemail is de kiestoon weer normaal en ononderbroken.

Het wek- of belsignaal
Dit is een toon met lange, regelmatige tussenpozen, die aangeeft dat het nummer dat u hebt gekozen wordt gebeld. Het is niet altijd zo dat de oproeper de tonen in hetzelfde ritme hoort als u. Dat hangt af van uit welke centrale deze signalen worden verstuurd. Tegelijkertijd wordt

bij de ontvanger een wekspanning op het toestel gezet. In Nederland is de toonhoogte 425 Hz gedurende 1 seconde met een onderbreking van 4 seconden. Althans, dat is wat de '*International Telecommunication Union*' heeft voorgeschreven in haar document '*Various tones used in national networks*'. Of de telecom-operators zich in de praktijk aan die vier seconden houden is discutabel.

Het bezetsignaal
Dit signaal betekent dat het opgeroepen toestel in gesprek is. In Nederland is de toonhoogte 425 Hz gedurende 500 ms met een onderbreking van eveneens 500 ms.

Het congestiesignaal
Dit signaal heeft dezelfde karakteristieken als het bezetsignaal, maar heeft een sneller ritme. Dit signaal wordt op de lijn gezet als de gevraagde verbinding niet tot stand kan komen doordat de verbindingslijnen bezet zijn. In Nederland is de frequentie 425 Hz gedurende 250 ms met een onderbreking van eveneens 250 ms.

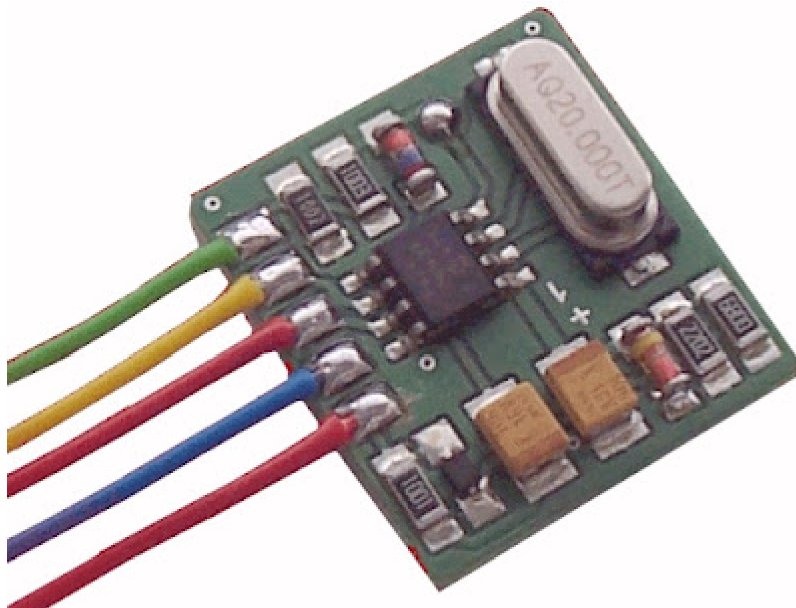
Het informatiesignaal
Dit signaal wordt meestal gebruikt om aan te geven dat het gekozen nummer niet meer in gebruik is. Vroeger bestond dit signaal uit afwisselend een hoge en een lage toon. Vanwege internationale standaardisering worden nu drie signalen met verschillende frequenties op de lijn gezet. Vaak wordt dit signaal gevolgd door een gesproken mededeling. In Nederland zijn die frequenties 950 Hz, 1.400 Hz en 1.800 Hz, alle drie met een lengte van 333 ms, met daarna een onderbreking van 1 seconde.

Het opschakelsignaal
Dit signaal bestaat uit vier korte tonen met verschillende frequenties die zonder pauze worden herhaald. U hoort dit signaal soms tijdens een gesprek als een operator inbreekt in uw gesprek, bijvoorbeeld om een dringend gesprek aan te kondigen. Door het verzenden van het opschakelsignaal is het (althans in theorie) niet mogelijk dat uw gesprek ongemerkt wordt afgeluisterd.

Het aanklopsignaal
Een korte toon, meestal iedere 10 seconden herhaald, die aangeeft dat er een tweede beller is die de abonnee probeert te bereiken. Door middel van de flashtoets of kort indrukken van de haak kan het tweede gesprek aangenomen worden en gewisseld worden tussen de twee gesprekken.

Het standaard T65 toestel

Is dit nostalgisch toestel dan nog steeds te gebruiken?
Ja, met een kleine aanpassing! U moet namelijk de kiespulsen omvormen tot DTMF-signalen. Daarvoor zijn door diverse techneuten kleine printjes ontwikkeld, die u voor een paar tientjes kunt kopen en die u zélf in zo'n oude kiesschijf telefoon kunt inbouwen. Op de onderstaande foto ziet u zo'n printje, in dit geval de '*141101-B pulse-to-tone converter*', ontwikkeld door Frits Kieftenbelt. Deze man verkoopt deze printjes voor € 25,00 per stuk. Zoeken op https://www.picbasic.nl levert u alle noodzakelijke informatie op.



Het printje van de '141101-B pulse-to-tone converter'.
(© Frits Kieftenbelt)

Korte historie van de T65

De T65 werd in 1965 geïntroduceerd als het standaard telefoontoestel voor het Nederlandse telefoonnet. Het apparaat werd vanaf oktober 1965 tot en met december 1987 door de PTT aan al haar abonnees geleverd. Op het toestel kon men diverse extra's aansluiten, zoals een extra telefoon om mee te luisteren, een extra bel en een luidsprekerversterker.

De telefoon is door de PTT in samenwerking met de Duitse firma Krone uit Berlijn ontwikkeld. Het technische gedeelte is ontworpen naar de inzichten van ir. H. de Mol. Er zijn miljoenen exemplaren gefabriceerd door meerdere fabrikanten, namelijk Heemaf, Ericsson, Standard Electric en Krone zelf.

De eerste versie van de T65 was grijs met een grijs snoer. Aanvankelijk was de T65 leverbaar met en zonder aardtoets, later alleen met. Deze toets was ook wit. Vanaf de jaren '70 was de T65 ook in een afwijkende kleur verkrijgbaar. Beschikbare kleuren waren rood, groen, wit, bruin, blauw en oranje. Er schijnen ook volledig zwarte exemplaren te bestaan, maar die zijn uiterst zeldzaam.

De T65 was vanaf 1974 leverbaar met een kiesschijf voor pulskiezen (T65) of met drukknoppen (T65-TDK) voor toonkiezen. TDK is het letterwoord van '***T**oon **D**ruktoets **K**euze*'.



De T65 was decennialang hét standaard toestel in Nederland.
(© dutchtelephones.com)

Het schema van de T65

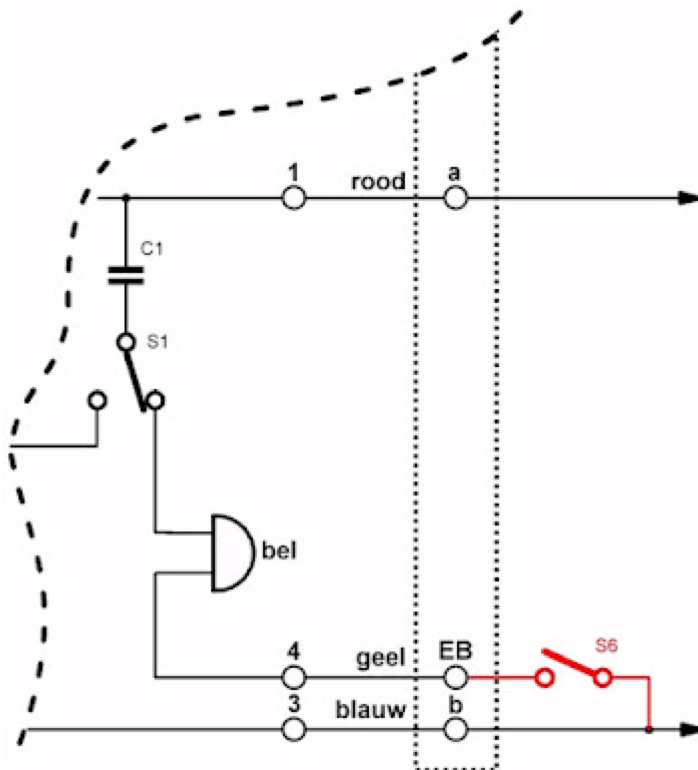
In de onderstaande figuur is het interne schema van de eerste versie van de T65 getekend. Het vieraderige snoer wordt in een klemmenkastje met 12 schroefjes, verborgen in de bodem van het apparaat, verbonden met de ingewanden van de telefoon. Het eerste dat opvalt is dat de bel niet vast met de b-ader van de lijn verbonden is. De onderste aansluiting gaat naar klem 4 van het klemmenkastje en moet met klem 3 (de b-ader) kortgesloten worden om de bel te activeren. Vaak is deze verbinding niet in de telefoon zelf tot stand gebracht, maar in de wandcontactdoos door het leggen van een draadje tussen de contactbussen b en EB. Als u dus ooit een tweedehands toestel in de dump hebt gekocht waarvan de bel schijnbaar defect is, moet u dit maar eens nakijken!
Tweede verschil met het fundamentele schema is dat de haakomschakelaar ingewikkelder in elkaar zit. Het haakcontact schakelt namelijk twee schakelaars S1 en S2. Met S2 is iets vreemds aan de hand. In rust is klem 1 met klem 5 verbonden. Neemt u de hoorn van de haak, dan sluit S2 waardoor eerst klem 1 met schakelaar S3 wordt verbonden en daarna de verbinding tussen klem 1 en klem 5 wordt verbroken.
Schakelaars S3 en S4 zijn gekoppeld aan de kiesschijf. Als deze wordt verdraaid opent S3 en sluit S4. De laatste schakelaar sluit dus het spreek/luister-gedeelte kort, zodat u niets hoort van de kiespulsen die op de lijn worden gezet. Als de schijf terugdraait naar de uitgangspositie gaat S3 een aantal malen sluiten, waardoor de lijn wordt kortgesloten en de kiespulsen ontstaan. Ondertussen staat S1 natuurlijk in de rechter stand en wordt de belcondensator C1 in serie met weerstand R1 over de pulsschakelaar S3 gezet. Dit netwerkje onderdrukt vonken en verlengt de levensduur van de schakelcontacten.
Tussen S2 en S3 gaat een aftakking naar S5, de zogenaamde aardingsschakelaar die wordt gesloten als u op het witte knopje naast de kiesschijf drukt. Deze toets en de klemmen 2, 5 en 6 zijn noodzakelijk als u twee of meerdere toestellen volgens de goedgekeurde technieken op één lijn wilt schakelen.
Het spreek/luister-gedeelte is ook niet vast met de lijn verbonden, maar via een metalen beugeltje in het klemmenkastje dat de klemmen 7 en 8 overbrugt. De microfoon MIC1 is aangesloten op een deel van de primaire wikkeling van de trafo. Het luidsprekertje LS1 staat over de secundaire wikkeling. Twee dioden D1 en D2 beveiligen uw oor tegen akoestische gevolgen van stoorpulsen die over de lijn zouden kunnen ontstaan. De speciale aansluiting van de microfoon op de trafo heeft een gegronde reden. Het microfoonsignaal wekt twee stromen op in de trafo. De eerste stroom i_1 vloeit in de gesloten kring MIC1, de onderste spoel van TR1 en R3. De tweede stroom i_2 vloeit via MIC1 en de bovenste spoel van Tr1 af naar de lijn. Beide stromen vloeien in tegengestelde richting door de trafo, het gevolg is dat de magnetische velden in de trafokern elkaar opheffen en u dus uzelf niet in de luidspreker hoort praten.

Het intern schema van de T65. (© 2022 Jos Verstraten)

Eenvoudige extra's aansluiten op de T65
Een extra bel kan volgens het schema van der onderstaande afbeelding in serie met de in de telefoon aanwezige bel worden opgenomen. Het is dan echter wel noodzakelijk de eventueel in de behuizing van de extra bel aanwezige condensator kort te sluiten. Eén condensator in serie met de bel is immers genoeg! Denk er verder aan dat de verbinding tussen EB en lijn b op drie verschillende plaatsen kan zijn aangebracht: in het klemmenbordje in de telefoon, in de steker en in de wandcontactdoos.

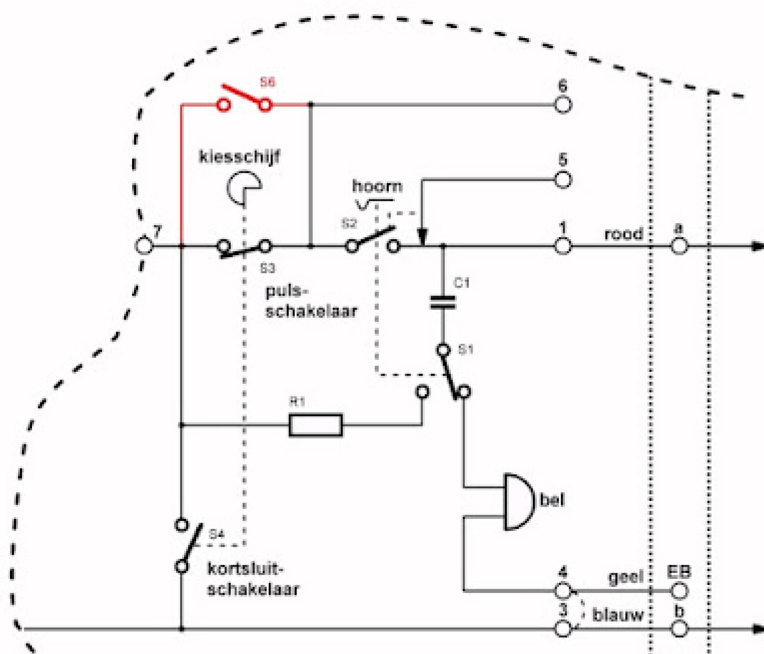
Een extra bel op de T65 aansluiten. (© 2022 Jos Verstraten)

De bel is uit te schakelen door volgens het schema van de onderstaande afbeelding een enkelvoudige aan/uit schakelaar S6 tussen de klemmen 4 en 3 te zetten. Als de schakelaar geopend is wordt u niet meer lastig gevallen door rinkelende telefoons, maar kunt u wel zelf blijven opbellen.



Uitschakelen van de bel. (© 2022 Jos Verstraten)

Wilt u niet hebben dat tijdens uw afwezigheid gebruik wordt gemaakt van de telefoon, dan kunt u volgens het schema van de onderstaande afbeelding op een geheime plaats een blokkeerschakelaar S6 monteren. Deze overbrugt de pulsschakelaar S3 van de kiesschijf, zodat er geen kiespulsjes op de lijn gezet kunnen worden. Het apparaat blijft echter normaal reageren op inkomende gesprekken.



Uitgaande gesprekken blokkeren. (© 2022 Jos Verstraten)

DTMF, Dual-Tone Multi-Frequency

Van kiespulsen naar kiestoontjes
Telefoons met terugdraaiende kiesschijf werden vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw langzaam maar zeker vervangen door exemplaren met druktoetsen. Dat had voornamelijk te maken met het vervangen van de centrales die met elektromechanische relais werkten door centrales die met elektronische schakelingen werken. Bovendien duurt het draaien van de hogere cijfers met een kiesschijf wel erg lang, vergeleken met het indrukken van een druktoets.
Dat betekende een ware internationale revolutie en het was noodzakelijk de besturingssignalen tussen uw telefoon en de centrale en centrales onderling grondig aan te passen.

Dual-Tone Multi-Frequency
In plaats van impulsreeksen die overeenkomen met de gekozen cijfers worden toonparen gebruikt met dezelfde functie. Deze toonparen bestaan uit de som van twee verschillende frequenties, vandaar '***D**ual-**T**one **M**ulti-**F**requency*' (DTMF). Deze worden aan de zendzijde (bijvoorbeeld in uw telefoontoestel) opgewekt en aan de andere kant gedetecteerd. Het detecteren gebeurt in de eerste plaats in de centrale, waar immers de juiste verbinding moet worden gemaakt, maar ook thuis kunnen deze signalen van pas komen. Denk bijvoorbeeld aan het op afstand bedienen van een antwoordapparaat en het aanzetten van de buitenverlichting. Nadat de verbinding tot stand is gekomen worden dan wat extra cijfers ingetoetst om de gewenste functies uit te laten voeren.

Een Bell-ontwikkeling
Het kiessysteem met DTMF-signalen werd ontwikkeld door het Bell Laboratorium en in het midden van de jaren '60 reeds in Amerika geïntroduceerd, waarna het als standaard werd aanbevolen door organisaties als CCITT (*International Telephone and Telegraph Consultative Committee*), CEPT (*Conference of European Postal Telecommunications Administrations*), NTTPC (*Nippon Telegraph and Telephone*) en andere.
Het DTMF-signaal bestaat uit de lineaire optelling van twee signalen met frequenties in de '*spraakband*'. Het kiezen met DTMF vereist dus geen andere (grotere) bandbreedte dan de reeds bestaande spraak bandbreedte. Er moeten dus geen wijzigingen worden aangebracht in de infrastructuur en de signaalversterkers.
Eén van deze signalen wordt geselecteerd uit de '*lage groep*' en het andere uit de '*hoge groep*'.
De lage groep bestaat uit vier frequenties:
- 697 Hz
- 770 Hz
- 852 Hz
- 941 Hz

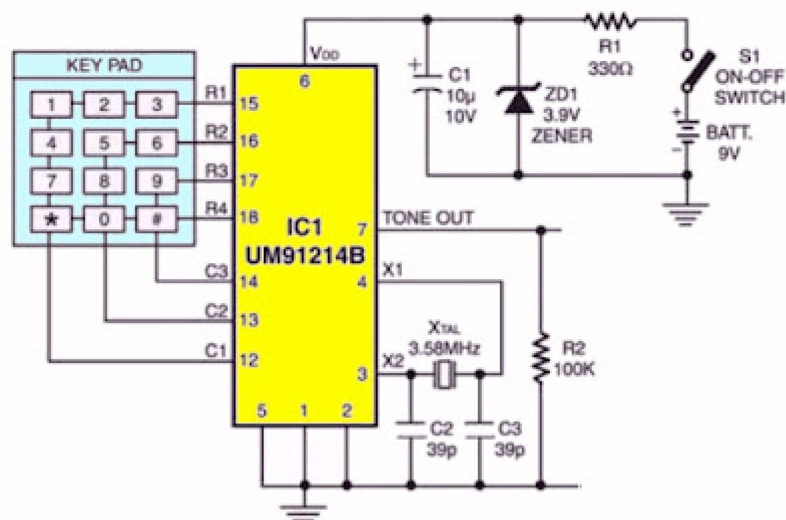
De hoge groep bevat ook vier frequenties:
- 1.209 Hz
- 1.336 Hz
- 1.477 Hz
- 1.633 Hz

In de onderstaande tabel wordt de verdeling van deze frequenties over de toetsen getoond.

	1.209 Hz	1.336 Hz	1.477 Hz	1.633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

Indeling van toetsenbord met bijbehorende DTMF-frequenties.
(© 2022 Jos Verstraten)

Het telefoon toetsenbordje
Het DTMF-systeem codeert niet alleen alle cijfers, maar ook de letters A, B, C en D en de leestekens # en *. Bij telefoons wordt echter geen gebruik gemaakt van de vier letters, zodat een toetsenbordje slechts 3 x 4 = 12 toetsen bevat. In de onderstaande figuur is voorgesteld hoe zo'n toetsenbordje werkt. Het is georganiseerd in een rij- en kolomformaat bestaande uit 4 rijen en 3 kolommen. Wordt een met een cijfer overeenkomende toets ingedrukt, dan wordt op het kruispunt één rij (R1 tot en met R4) en één kolom (C1 tot en met C3) met elkaar verbonden. Er wordt dus gebruik gemaakt van het bekende matrix-principe. Voor het cijfer 5 worden bijvoorbeeld de lijnen R2 en C2 met elkaar verbonden. Deze actie kan door een niet eens erg ingewikkeld IC gemakkelijk worden geïnterpreteerd als het drukken op toets 5. In de onderstaande figuur is voorgesteld hoe zo'n toets-uitlezing er in de praktijk uitziet.

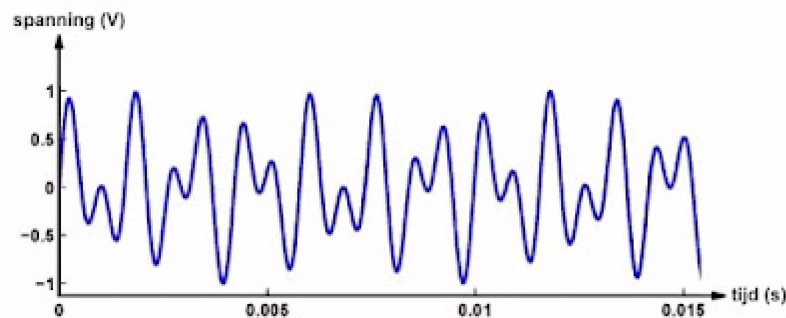


Het uitlezen van de twaalf toetsen van een telefoon.
(© 2022 Jos Verstraten)

Signaal eisen
Aan de opgewekte DTMF-signalen worden strenge eisen gesteld om een goede werking te garanderen. De in de generator opgewekte frequenties mogen maximaal 1 % afwijken, terwijl de totale harmonische- en intermodulatie-vervorming van de dubbeltoon, gemeten aan de

telefoonaansluiting, minder dan 10 % moet zijn. De afwijking van de amplitude van de hoge groep ten opzichte van die van de lage groep mag maximaal ±2,0 dB bedragen, waarbij de absolute amplituden in het toegestane gebied moeten liggen.

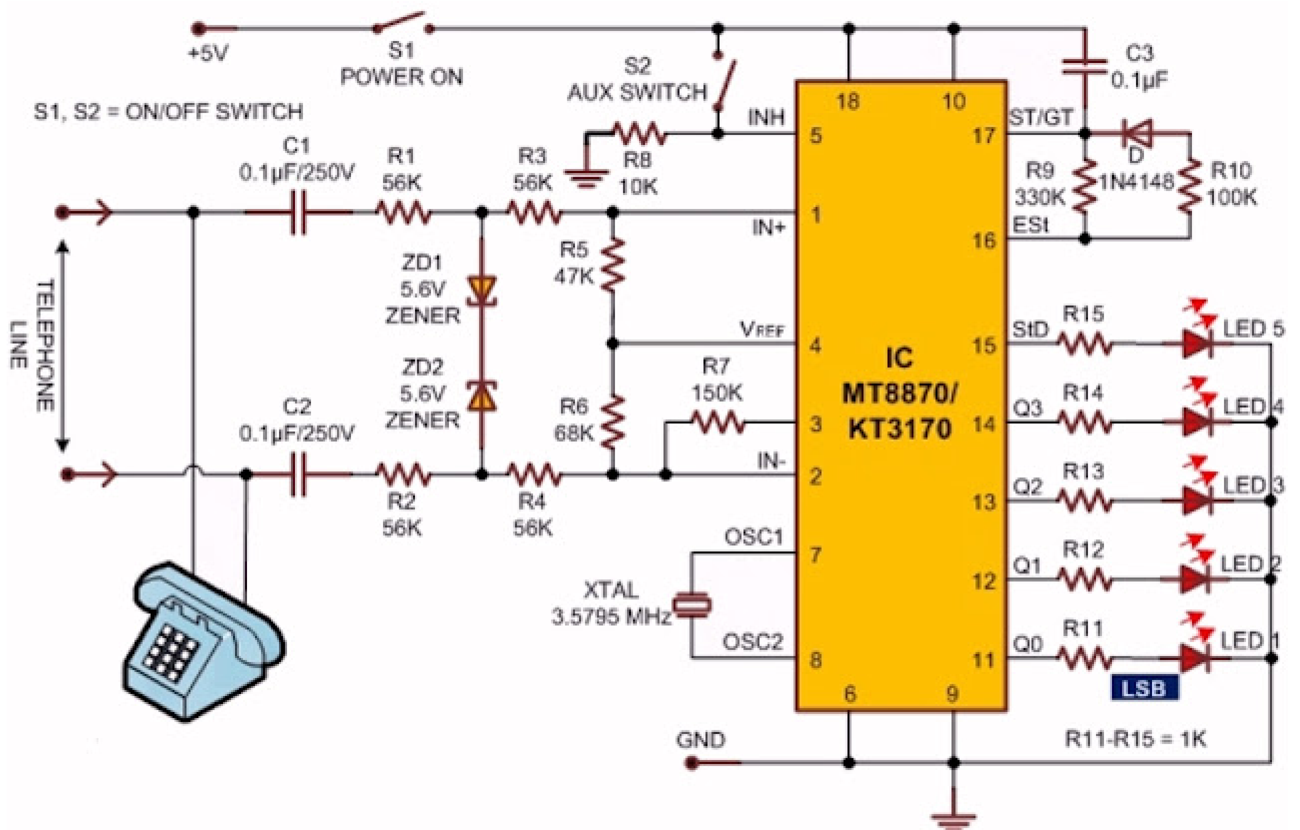
Opbouw van de schakelingen
De meeste DTMF-generatoren (ook wel DTMF-encoders of DTMF-diallers genoemd) bevatten een complete oscillator-schakeling waarop u alleen een standaard 3,58 MHz kristal (3,579545 MHz ±0,02% om precies te zijn) moet aansluiten. Deze basisfrequentie wordt dan met programmeerbare delers zodanig gedeeld dat de rij- en kolomfrequenties ontstaan. Wanneer het sluiten van een toets wordt gedetecteerd, ontstaan in de generator twee sinusvormige signalen. Deze sinusvorm kan op twee manieren worden bereikt: met twee 8-traps Johnson tellers of met twee D/A-omzetters. Deze signalen worden tenslotte in een optelschakeling lineair bij elkaar opgeteld. In de onderstaande figuur ziet u als voorbeeld het signaal dat ontstaat als u toets 1 van het toetsenbordje indrukt.



Het DTMF-signaal van toets 1. (© 2022 Jos Verstraten)

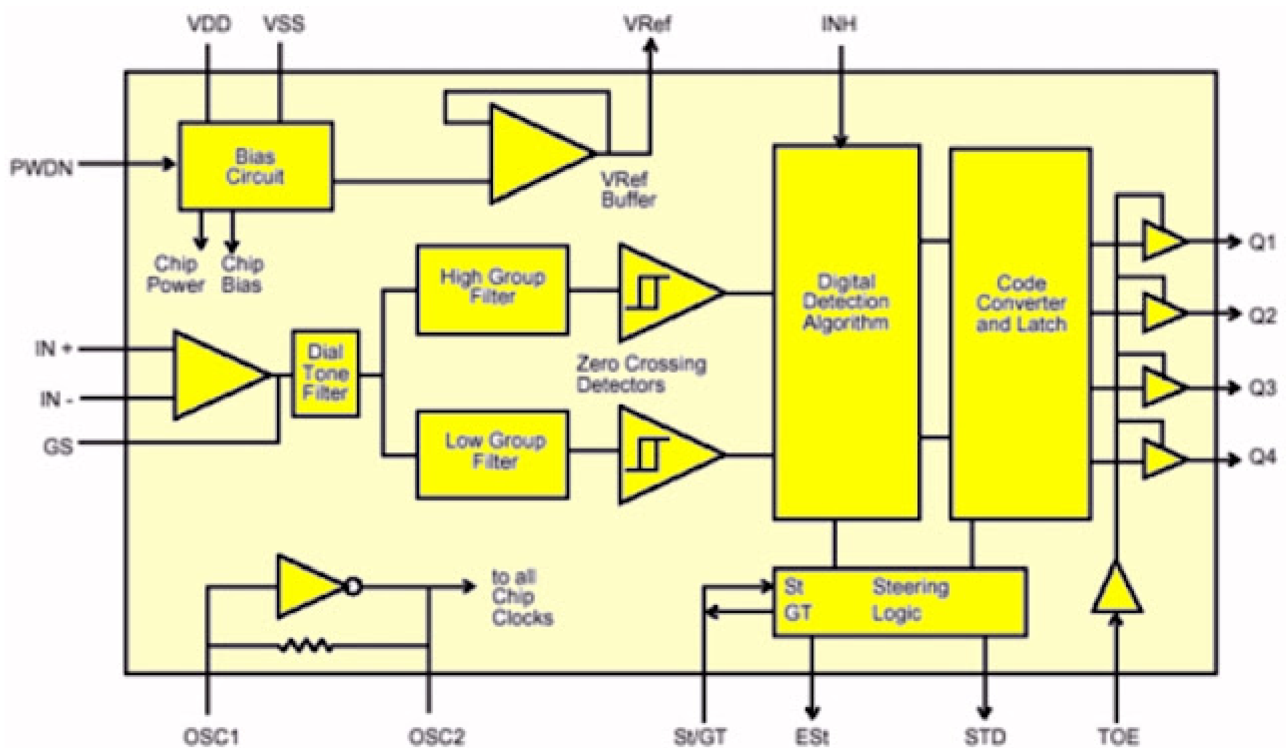
Het decoderen van DTMF-signalen
Dat is heel wat ingewikkelder dan het genereren van deze signalen! Er komt ingewikkelde elektronica bij kijken om uit het somsignaal van twee frequenties weer af te leiden op welke toets u hebt gedrukt.
In de meeste IC's wordt de geschakelde condensatortechniek gecombineerd met digitale technieken om Dual-Tone Multi-frequency signalen om te zetten in vier bit brede binaire data. Eerst worden de kiestonen en ruis uitgefilterd, waarna het gezuiverde signaal in een hoge en een lage frequentiecomponent wordt gesplitst. Deze componenten worden vervolgens geanalyseerd om de waarde ervan te bepalen. Geldige signalen worden gedecodeerd en opgeslagen aan de DATA-uitgangen.

De MT8870 chip
Een van de bekendste IC's die u kunt gebruiken bij het experimenteren met het decoderen van DTMF-signalen is de MT8870. Deze schakeling wordt door diverse fabrikanten geproduceerd en is op Chinese sites spotgoedkoop te bestellen. Op tientallen sites worden bovendien printjes met dit IC als basis aangeboden voor prijzen van rond een tientje. In de onderstaande figuur is het standaard schema van een DTMF-decoder met deze chip weergegeven.



Standaard schema rond de MT8870. (© Electronics-DIY)

De tonen uit de hoge en de lage groep worden van elkaar gescheiden door het dubbeltoon-signaal toe te voeren aan de ingangen van twee negende orde geschakelde condensator banddoorlaat filters, waarvan de bandbreedten overeenkomen met de banden die de tonen van de hoge en de lage groep omvatten. Het filter spert bij 350 en 40 Hz om de kiestoon effectief te onderdrukken. Elke filter-uitgang wordt gevolgd door een eerste orde geschakelde condensatorsectie om de signalen af te vlakken voordat ze worden begrensd. De begrenzing wordt uitgevoerd door comparatoren met grote versterking. De comparatoren hebben een hysteresis om detectie van ongewenste kleine signalen en ruis te voorkomen. De door de comparatoren geleverde uitgangssignalen hebben amplitudes die even groot zijn als de voedingsspanning.
In de decoder van de M8870 wordt een digitale teltechniek gebruikt om de frequenties van de begrensde tonen te bepalen en te verifiëren dat ze overeen komen met standaard DTMF-frequenties. Ter beveiliging tegen toonsimulatie door andere signalen (bijvoorbeeld spraak), terwijl kleine frequentievariaties zijn toegestaan, wordt een complex middelend algorithme toegepast. De periode van de blokgolf wordt gemeten, over een aantal cycli uitgemiddeld en vergeleken met de vier mogelijke tonen in de betreffende band.
Wanneer in beide banden tegelijk een geldige toon wordt gedetecteerd, gaat de Early Steering flag (ESt) HOOG. Bij verlies van het DTMF-signaal gaat ESt weer LAAG.
Voordat een gedecodeerd tonenpaar wordt geregistreerd checkt de ontvanger of de tijdsduur van het geldige signaal lang genoeg is. De timing hiervan wordt ingesteld door een externe weerstand en condensator. Nadat een geldige toon gedurende de '*tone present detection time*' aanwezig is, gaat ESt HOOG en ontlaadt een condensator via een externe weerstand. Op dit moment wordt de met het DTMF-signaal overeenkomende vier bit code in de uitgangen gelatcht. De code komt op de uitgangen Q1 tot en met Q4 beschikbaar door de tri-state besturingsingang TOE logisch HOOG te maken.
Tot slot van dit verhaal ziet u in de onderstaande figuur het blokschema van de MT8870.



Intern blokschema van de MT8870. (© MicroSemi)

Calling Line Identification

Nummerweergave
'*Caller ID*' of '***C**alling **L**ine **I**dentification*' (CLI) zijn de officiële namen voor het systeem dat u kent als '*Nummerweergave*'. Dankzij Caller ID kunt u zien wie er belt. Althans, het maakt inzichtelijk vanaf welk nummer er wordt gebeld. Door de ontvangen Caller ID informatie in uw telefoon te koppelen aan een namenlijst kan uw telefoontoestel ook de naam van de beller tonen.
Deze dienst begon in 1993 en werd vastgelegd door de '*International Telecommunication Union*'. Daarvoor wist u nooit wie er aan de andere kant van de lijn aanwezig was. Naast gebruik voor telefoons werd Caller ID ook veel gebruikt voor de bekende beepers. Deze apparaten waren een voorloper van mobiele telefoons waarbij iemand uitsluitend een telefoonnummer verzond om contact te leggen met een ander persoon. Dit was een soort terugbelverzoek op basis van een telefoonnummer.

Een beetje historie
Reeds in 1968 begon Theodore Paraskevakos, werkzaam als communicatie-ingenieur in Griekenland, met de ontwikkeling van een systeem om een beller automatisch te identificeren voor een ontvanger van de oproep. Na verschillende pogingen en experimenten ontwikkelde hij de methode waarbij het nummer van de beller werd doorgegeven aan het toestel van de ontvanger. Deze methode vormde de basis voor de hedendaagse Caller ID technologie.
In 1971 bouwde Paraskevakos, in samenwerking met Boeing, een zender en een ontvanger die het Caller ID in de praktijk brachten.

CLIP en CLIR
Het onderdeel van de Caller ID standaard dat ervoor zorgt dat het telefoonnummer van de beller wordt meegestuurd met de oproep en op het scherm van uw toestel verschijnt heet '***C**alling **L**ine **I**dentification **P**resentation*' (CLIP).
Er is echter ook de mogelijkheid ingebouwd deze nummerweergave te onderdrukken. Dat deel van het protocol gaat door het leven met de naam '***C**alling **L**ine **I**dentification **R**estriction*' (CLIR). Dit biedt dus de mogelijkheid om anoniem te bellen. Wanneer CLIR is geactiveerd is het nummer van de beller niet zichtbaar op uw scherm. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt door callcenters die niet willen dat u kunt zien vanaf welk nummer er wordt gebeld.

Om veiligheidsredenen werkt CLIR niet bij het bellen van noodnummers. Bij oproepen naar het alarmnummer 112 is de afzender van het gesprek altijd zichtbaar voor de meldkamer. Het is niet langer toegestaan om telemarketing uit te voeren vanaf een nummer dat niet zichtbaar is. Het is ook niet toegestaan om gebruik te maken van '*spoofing*'. Dat betekent dat een nummer op uw scherm wordt weergeven dat niet het nummer is van waaruit gebeld wordt.

Hoe het werkt
Om informatie over de beller naar uw telefoon te sturen gebruiken de telefoonmaatschappijen een FSK-techniek die identiek is aan deze die gebruikt wordt in een modem van 1.200 baud. De digitale signalen 'H' en 'L' worden dus vertaald naar twee frequenties in de audioband en op de telefoonlijn gezet. Het bericht wordt verzonden tussen het eerste en tweede belsignaal. Uw telefoon gaat dus eenmaal over, nadien wordt een 'bliep' verzonden van ongeveer een halve seconde lang. Deze digitale seriële code bevat:

- Een serie afwisselende 'H' en 'L' om de elektronica in uw telefoon te synchroniseren met het ontvangen bericht.
- Een byte die het type bericht voorstelt.
- Een byte die de lengte van het bericht weergeeft.
- Maand, dag, uur en minuut, elk weergegeven met twee bytes.
- Het tiencijferige telefoonnummer in tien bytes.
- Een controlesom byte.